

Avaliação das condições acústicas de salas para ensino de música**Evaluation of the acoustic conditions of rooms for teaching music**

Recebimento dos originais: 27/09/2018

Aceitação para publicação: 29/10/2018

Ana Carolina Mendonça Mansur

Mestranda em Engenharia Mecânica

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Endereço: Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba – PR, Brasil

Email: anamendoncamansur@gmail.com**Erasmio Felipe Vergara**

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina

Endereço: Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis – SC, Brasil

Email: e.f.vergara@ufsc.br**RESUMO**

Os locais destinados ao ensino e prática musical devem ser adequados acusticamente para que os músicos, usuários destes ambientes, consigam perceber o som musical com qualidade. Com o intuito de caracterizar acusticamente os recintos do ensino e prática de música de uma instituição de ensino iniciaram-se os estudos e medições a partir da obtenção da resposta impulso acústica seguindo as recomendações da norma ISO 3382-1: 2009, em 17 salas de aula e prática musical e um auditório de apresentações musicais. Os parâmetros acústicos determinados foram o tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), clareza (C80), definição (D50) e índice de transmissão da fala (STI). Além disso, foram levantadas opiniões dos músicos que ocupavam estas salas, mediante questionários, para conhecer informações sobre a sua qualidade acústica. No geral, pode-se dizer que as salas apresentam-se um tanto quanto reverberantes, necessitando de mudanças no interior das mesmas em prol da qualidade acústica para que o músico possa desenvolver seu trabalho.

Palavras-chave: acústica de salas, acústica musical, qualidade acústica, clareza.**ABSTRACT**

The spaces reserved for music teaching and practice must be acoustically appropriate so the musicians who use these enclosures are able to perceive the musical sound with quality. In order to acoustically distinguish enclosures reserved for musical teaching and practice in an institution, studies and measurements have been carried in 17 music classrooms and an auditorium for musical

performance from data obtained from acoustic impulse response measurement following ISO 3382-1: 2009 recommendations. The acoustic parameters were determined by the reverberation time (RT), early decay time (EDT), clarity (C80), definition (D50) and speech transmission index (STI). In addition, musicians' who occupied these rooms informed their perception about the acoustic quality through a questionnaire. Overall, it can be said that the rooms are somewhat reverberant, requiring changes within in order to improve the sound quality so that the musicians can perform better.

Key words: room acoustics, musical acoustics, acoustic quality, clarity.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade acústica de uma sala de música está diretamente associada às diversas impressões sonoras que ocorrem no recinto (FIGUEIREDO, 2005). A determinação dos parâmetros acústicos nestas salas pode ser obtida através de ensaios no local ou, ainda, através de simulações computacionais. Pode-se afirmar que a percepção musical e, conseqüentemente, a qualidade da música tocada são diretamente afetadas quando o local destinado ao estudo da mesma não é apropriado.

Quando se trata da acústica para fins musicais, torna-se um pouco mais complexa a definição de um ambiente adequado, uma vez que aulas teóricas e de técnica vocal exigem condições diferentes de aulas de prática de instrumento, por exemplo. No primeiro caso, o propósito do ambiente é facilitar a compreensão da fala. Já no segundo, parâmetros como tempo de reverberação tornam-se imprescindíveis.

Muitos dos locais destinados ao ensino e prática da música não são projetados para o determinado fim, o que acaba prejudicando o desenvolvimento do músico. Segundo o renomado violoncelista Mstislav, uma boa sala é tão importante quanto um bom instrumento (SÁ, 2010). Estudos realizados nos EUA e na Inglaterra apontam que a implementação de um projeto acústico para uma edificação implica um custo adicional na ordem de 3% do valor total da obra (RIBEIRO, 2008).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados obtidos para a caracterização acústica das salas e auditório destinados ao ensino de música de uma instituição universitária em termos dos parâmetros de tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), clareza (C80), definição (D50) e índice de transmissão da fala (STI). A partir de medições da resposta impulso acústica em cada sala serão apresentados neste artigo os critérios de qualidade, energia e inteligibilidade da fala para os recintos mencionados.

3 MÉTODO

Este trabalho se dividiu em três etapas principais. Primeiramente fez-se o levantamento das dimensões e materiais dos recintos. Ainda nesta etapa, foi aplicado um questionário aos usuários dos locais (alunos e professores) em prol da comparação entre aquilo que fora obtido nas medições acústicas e a preferência do usuário em relação à condição acústica da sala. Posteriormente, foram realizadas medições acústicas no local para determinação dos parâmetros acústicos: TR, EDT, C80, D50 e STI. A última etapa caracterizou-se pelo tratamento dos dados obtidos a partir das medições e análise dos resultados.

3.1 DESCRIÇÃO DAS SALAS DE MÚSICA

As salas e o auditório em análise estão distribuídos num edifício de dois pavimentos. No primeiro encontram-se a secretaria; auditório; salas 1, 2, 3 e 18. Já no pavimento superior, é possível encontrar as demais salas, separadas em salas de estudo coletivas (7, 8, 10, 12 a 16) e salas de estudo individuais (4 a 6, 9 e 11).

A Tabela 1 traz informações referentes às características geométricas dos recintos. As salas destinadas ao estudo individual ou ensaio de pequenos grupos de músicos apresentam volume entre 22,87 m³ e 47,79 m³. Já as salas de prática de grandes grupos como também salas de aula teórica apresentam volumes variando entre 114,87 m³ e 175,60 m³. O maior volume dos recintos fechados avaliados nesta pesquisa diz respeito ao auditório do departamento. Com um total de 221,36 m³, atende a recitais periódicos de alunos, bem como ensaios da orquestra de cordas desta universidade. As salas apresentam plantas baixas em formato retangular, com superfícies paralelas a norte-sul e leste-oeste. Com exceção do auditório, cujo pé direito é variável na platéia, as demais salas apresentam valor igual a 3,30 m.

O entorno do local em estudo é caracterizado, em grande parte, pelo estacionamento de veículos motorizados que atende àqueles que estudam e trabalham na instituição. O prédio faz contato também com os demais departamentos do Centro – cursos de artes cênicas e visuais, design e moda.

Tabela 1. Descrição das características geométricas das salas do departamento de música em análise

Sala	Características geométricas (m ²)			Sala	Características geométricas (m ²)		
	Dimensões	Área	Volume		Dimensões	Área	Volume
DMU 01	3,19 x 4,54 x 3,30	14,48	47,79	DMU 10	3,30 x 4,32 x 3,30	14,26	47,04
DMU 02	4,44 x 7,84 x 3,30	34,81	114,87	DMU 11	2,28 x 5,72 x 3,30	13,04	43,04
DMU 03	5,80 x 9,10 x 3,30	52,78	174,17	DMU 12	6,78 x 7,86 x 3,30	53,29	175,6
DMU 04	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95	DMU 13	6,78 x 7,86 x 3,30	53,29	175,6
DMU 05	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95	DMU 14	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU 06	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95	DMU 15	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU 07	3,24 x 4,40 x 3,30	14,26	47,04	DMU 16	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU 08	3,24 x 3,24 x 3,30	10,5	34,64	DMU 18	2,10 x 3,30 x 3,30	6,93	22,87
DMU 09	2,14 x 3,22 x 3,30	6,89	22,74	Auditório	7,80 x 8,60 x 3,30	67,08	221,36

3.2 ELABORAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS PARA ALUNOS E PROFESSORES

Os questionários foram disponibilizados no hall do edifício onde se encontram as salas de ensino e prática musical, durante os meses de maio e junho de 2015.

Sem a necessidade de identificação, o usuário deveria classificar as salas no que diz respeito às preferências acústicas de cada sala levando em consideração as percepções auditivas do instrumento em estudo neste local; apontar se as salas adjacentes transferiam algum tipo de ruído e em caso positivo quais; elencar quais instrumentos facilmente se ouviam do lado de fora das salas. A escala ordinal e qualitativa para classificar a preferência da sala utilizou cinco classes, sendo: 1 (péssima) 2 (ruim), 3 (regular), 4 (boa) e 5 (ótima).

Para aqueles músicos que já haviam feito uso do auditório, perguntava-se a respeito do retorno sonoro que havia do instrumento no palco; se haviam ruídos internos e/ou externos que prejudicavam os recitais e, em caso positivo, quais. Pedia-se para identificar o instrumento de estudo, média de horas semanais que praticava e, na opinião de cada um, o que seria um ambiente adequado para o estudo da música.

Dos entrevistados, 40% eram pianistas, 15% violinistas, 12% cantores e os demais músicos estavam divididos entre estudantes de viola, violoncelo, baixo acústico, violão, guitarra, percussão e instrumentos de sopro.

3.3 ENSAIOS ACÚSTICOS

A resposta impulso das salas em estudo foi obtida através de medições acústicas de acordo com a norma ISO 3382-1:2009. Em função do volume do recinto foi definida a quantidade de medições.

O medidor de pressão sonora SOLO foi conectado ao computador portátil, sendo o processamento de dados realizado com o auxílio do programa para acústica de edificação dBBATI32 (2002). Na Figura 1 é apresentada uma descrição da montagem dos equipamentos (microfone, medidor de pressão sonora e programa computacional) e da fonte geradora (balão gigante) do impulso para obter a resposta acústica da sala. A aquisição do sinal acústico e o

respectivo processamento permitiram a obtenção dos parâmetros TR, EDT, C80, D50 e STI, para cada sala, nas bandas de frequência de oitava 125-8.000 Hz.



Figura 1. Montagem dos equipamentos de medição acústica (a); geração do impulso - estouro de balão (b)

O medidor de pressão sonora foi fixo numa coordenada do recinto, enquanto o posicionamento para estouro dos balões variou conforme o volume interior da sala. Para salas com volume igual ou inferior a 28 m³, pelo menos uma posição de estouro foi realizada. Para volumes próximos ou superiores a 330 m³, como no caso do auditório, foram realizados quatro pontos de geração da resposta ao impulso. Cabe ressaltar que para cada posição de estouro, fizeram-se duas repetições, totalizando três medições. Isto é recomendado na norma citada visando à confiabilidade dos resultados. As alturas de microfone e fonte sonora empregadas foram de 1,2 e 1,5 m, respectivamente. As posições de microfone estiveram distante a pelo menos 1,0 m das paredes.

4 RESULTADOS

Em função da quantidade de recintos analisados e em prol da facilidade de abordagem dos resultados, agruparam-se as salas em função dos respectivos volumes. A Tabela 2 apresenta os quatros grupos adotados, o tipo e os intervalos máximos e mínimos quanto ao volume.

Tabela 2. Discriminação dos grupos segundo volume (m³) dos recintos

Grupo	Tipo	Recintos	Valores max e min de volume (m ³)
I	Individual/coletiva	4, 5, 6, 9 e 18	22,74 - 22,95
II	Individual/coletiva	1, 7, 8, 10 e 11	34,64 - 47,79
III	Grupal	2, 14, 15 e 16	114,87 - 116,28
IV	Grupal	3, 12, 13 e Auditório	174,17 - 221,36

4.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO (TR)

O tempo de reverberação (TR) é definido como o tempo, em segundos, para que o nível de pressão sonora em um ambiente decaia 60 dB, após a interrupção da fonte. O TR está diretamente

associado ao volume do recinto e à absorção sonora dos materiais e mobiliário no seu interior e expostos à incidência sonora.

Além possibilidade de se obter analiticamente o tempo de reverberação, o mesmo pode ser obtido a partir de medições acústicas. O método experimental adotado neste trabalho consistiu em obter para cada ambiente avaliado a resposta acústica ao impulso. A geração do impulso foi provocada pelo estouro dos balões gigantes e utilizando o medidor de pressão sonora SOLO para a aquisição do sinal acústico. Os dados foram processados com o programa computacional dBBATI32 (2002) para calcular os parâmetros acústica de cada sala: TR, EDT, C_{80} , D_{50} e STI. Os resultados obtidos de TR para todas as salas são apresentadas na Figura 2, separadas pelos grupos em função do volume dos recintos.

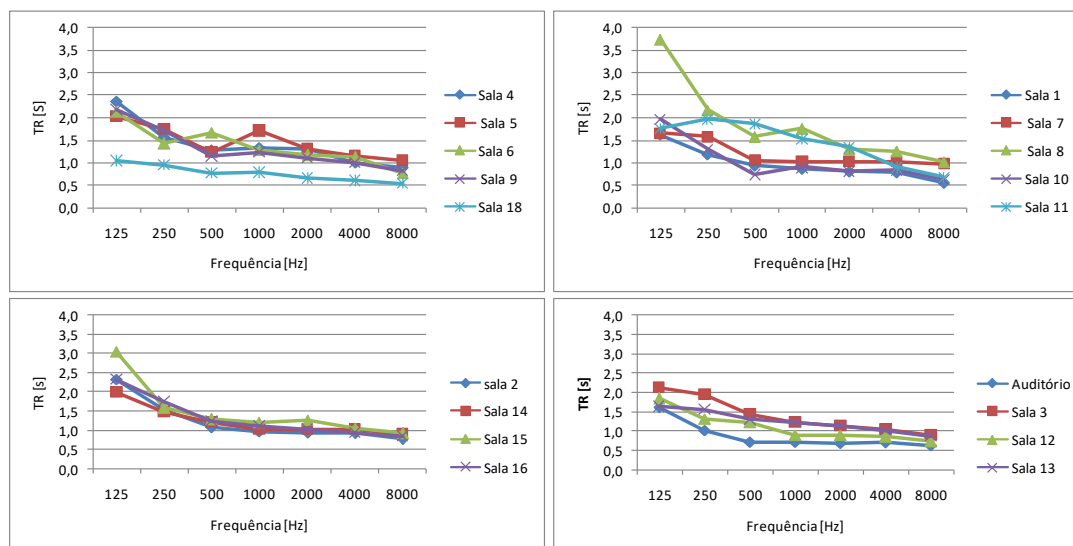


Figura 2. Valores de tempo de reverberação (TR) nas bandas de frequência de oitava (125-8.000 Hz) para cada grupo de recintos

Ao se estudar a acústica de ambientes destinados à execução de música, é relevante ressaltar que grandes salas de concerto e salas de prática musical apresentam características diferentes. Embora as duas tenham a necessidade de oferecer condições acústicas adequadas, elas se tornam diferentes pelo uso. Além disso, a percepção do usuário muda em função do instrumento estudado, uma vez que as faixas de frequência são diferentes.

Obtidos os valores referentes ao tempo de reverberação os mesmos foram analisados em função do volume e faixa de frequência e comparados à bibliografia. Segundo a Tabela 3, para salas com volume até 30m³ o TR adequado estaria em torno de 0,6 segundos. Voltando à Figura 2, facilmente observam-se valores um tanto quanto elevados para o primeiro conjunto de salas.

Apenas a sala 18 estaria apresentando valores próximos aos recomendados, ainda assim, apenas para frequências acima de 2.000 Hz.

Tabela 3. Tempos de reverberação médios para salas de prática e ensino musical

Referência	Prática/ensaio conjunto	Prática/ensaio individual	Ensino(teoria musical)	Frequência (Hz)
Lane e Mikeska (1955)	-	0,4 a 0,7 s	0,55 a 0,8 s	100
Karsai (1974)	-	0,8 s (105 m³)	-	125
		0,4 s (105 m³)		500
Lamberty (1980)	-	0,5 a 0,9 s (33-154 m³)	-	500
Nagata (1989)		0,3 a 0,5 s (100 m³)	-	125 - 4K
Cohen (1992)	0,3 a 0,5 s (30-40 m³)	-	-	125 - 4K
Teuber e Vöelker (1993)	0,2 a 0,6 s (30-200 m³)	0,2 a 0,6 s (30-200 m³)	0,2 a 0,6 s (30-200 m³)	63 - 10K
ANSI S12.60-2002 (2002)	< 0,6 s (38-150 m³)	< 0,6 s (14-30 m³)	< 0,6 s (120-210 m³)	500 - 2K
DfES (2002)	0,5 a 1,0 s (38-150 m³)	0,3 a 0,6 s (14-30 m³)	0,4 a 0,8 s (120-210 m³)	500 - 2K
BB93 (2003)	0,6 a 1,2 s (38 a 150 m³)	< 0,8 s (14 a 30 m³)	< 1,0 s (120-210 m³)	500 - 2K
Lokki e Salmensaari (2007)	0,7 s (246 m³)	0,5 a 0,6 s (10-120 m³)	0,5 a 0,6 s (10-120 m³)	1K
Ryherd (2008)	0,8 a 1,0 s	-	0,4 a 0,5 s	1K

Fonte: Vergara et al. (2017)

Para o segundo conjunto de salas, com volume máximo na ordem de 48m³, a situação fica ainda mais comprometida, principalmente no que diz respeito às baixas frequências (< 250 Hz). Picos de TR como gerado na banda de 125 Hz para a sala 8 pode ser justificado pelo fenômeno da ressonância acústica (presença de modos acústicos axiais); sendo que este último ocorre quando a frequência de oscilação natural de um corpo coincide com a oscilação da fonte sonora.

Recintos com maiores volumes, como no caso do auditório a situação pode também ser considerada inadequada, mas neste caso devido ao excesso de absorção. Salas destinadas a concertos musicais e com volumes próximos a 220 m³ têm valores de TR recomendados na ordem de 1,0segundo (OSAKI E SCHMID, 2009).

A condição sonora proporcionada por um ambiente acarreta em diferentes interpretações daquilo que é escutado. Através de pesquisas desenvolvidas por Beranek (1962), as preferências entre músicos experientes se moldam de acordo com o estilo musical – peça tocada - em relação ao volume do recinto. Muitos deles afirmam que a execução de peças como concertos de Bach tornam-se melhores em salas pequenas, cujo tempo de reverberação se apresentam de certa forma menores. Em contrapartida, peças como Toccata e Fuga do mesmo compositor, se tornam melhores interpretadas quando executadas em ambientes com longo tempo de reverberação. Tal afirmativa pode ser justificada pelo fato do tempo de reverberação elevado contribuir para que as pausas sejam preenchidas pelos acordes anteriormente tocados. O tempo de reverberação reduzido neste caso faria com que a peça apresentasse longos intervalos de pausa, descaracterizando as particularidades fundamentais da peça.

4.2 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL (EDT)

Levando-se em consideração a acústica para fins musicais, outro parâmetro imprescindível para análise diz respeito ao tempo de decaimento inicial. O tempo de decaimento inicial (EDT) é o tempo, em segundos, para que a energia sonora decaia 10 dB e é medido da mesma forma que o tempo de reverberação (Beranek, 1996). Enquanto o tempo de reverberação está diretamente associado aos aspectos físicos das salas, o EDT está ligado à percepção da reverberação pelo ouvinte. Sendo um parâmetro cujo resultado é diretamente influenciado pela posição de medição, torna-se uma excelente referência para análise das diferentes percepções sonoras em função das posições dentro de um recinto fechado (MARROS, 2011).

Embora não existam normas específicas para determinação de valores adequados para tempo de decaimento inicial, podem-se levar em consideração os estudos de Beranek que considera valores de referência entre 2,25 e 2,75 segundos para uma sala desocupada e os valores entre 1,4 e 2,0 segundos para salas menos favorecidas.

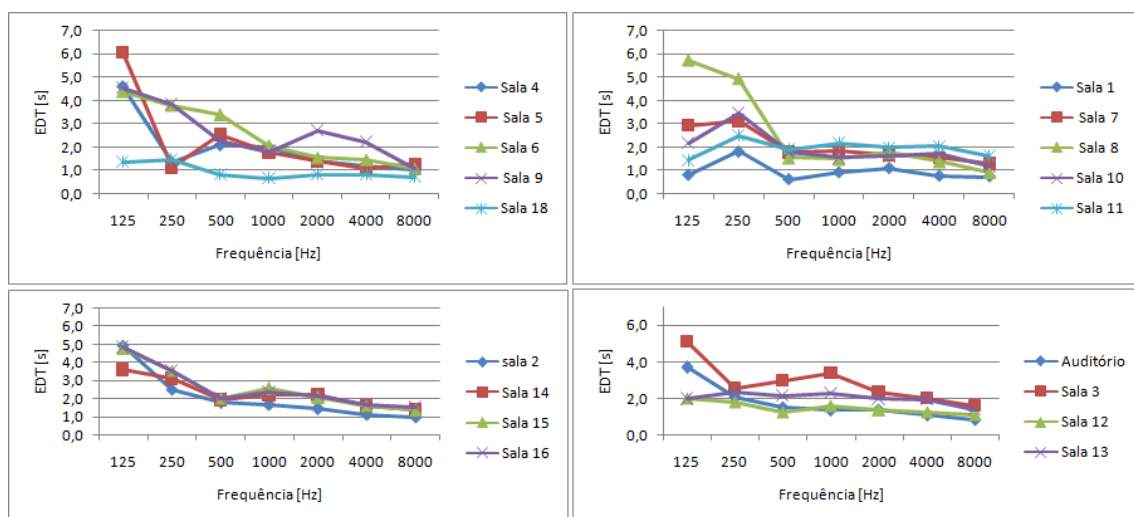


Figura 3. Valores de tempo de decaimento inicial (EDT) nas bandas de frequência de oitava (125-8.000 Hz) para cada grupo de recintos

Segundo informações provenientes da Figura 3, nenhum dos recintos apresenta uma percepção à reverberação adequada. A sala 18, grupo I, é em especial a que apresenta uma percepção menor de TR, em virtude da absorção mais elevada. Isso pode ser justificado pela posição da sala em relação às demais, bem como presença de mobiliário com coeficientes de absorção sonora maiores. Conforme já mencionado na seção referente ao TR, valores muito baixos para tempo de reverberação são prejudiciais para ambientes com finalidade musical, uma vez que as notas tocadas acabam provocando sensações sonoras de notas isoladas (como se existissem pausas em excesso).

Ainda para a Figura 3, verificam-se valores elevados nas baixas frequências, facilmente interpretadas em salas como a de número 8 do grupo II, dando credibilidade ao que fora obtido nos dados referentes ao tempo de reverberação.

4.3 CLAREZA (C_{80}) E DEFINIÇÃO (D_{50})

A facilidade de distinção entre sons durante a execução de uma música ou da palavra falada pode ser descrita pelos parâmetros acústicos referentes à clareza e definição, respectivamente.

A clareza apresenta diferentes limites de intervalos de tempo quando associados à percepção musical e à fala. Quando se trata de música seu intervalo é limitado a 80 ms; no caso da fala, a 50 ms.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} [\text{dB}] \quad \text{Equação 1}$$

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} 100\% \quad \text{Equação 2}$$

Analicamente, a clareza e a definição podem ser obtidas pelas equações 1 e 2, respectivamente. No estudo em questão, este e os demais parâmetros analisados foram obtidos a partir da resposta acústica ao impulso.

Salas destinadas à música apresentam clareza apropriada quando os resultados para este parâmetro podem variar entre -4 e +4 dB (BERANEK, 1996). Para a definição, quanto mais próxima de 100%, com maior precisão será percebida a palavra falada e a execução de uma peça musical.

Os dois parâmetros estão correlacionados e, pode-se dizer que para valores baixos de C_{80} e D_{50} som é qualificado como indefinido e confuso. Quando o recinto em análise é considerado seco do ponto de vista acústico, os valores de clareza e definição são maiores que para salas reverberantes.

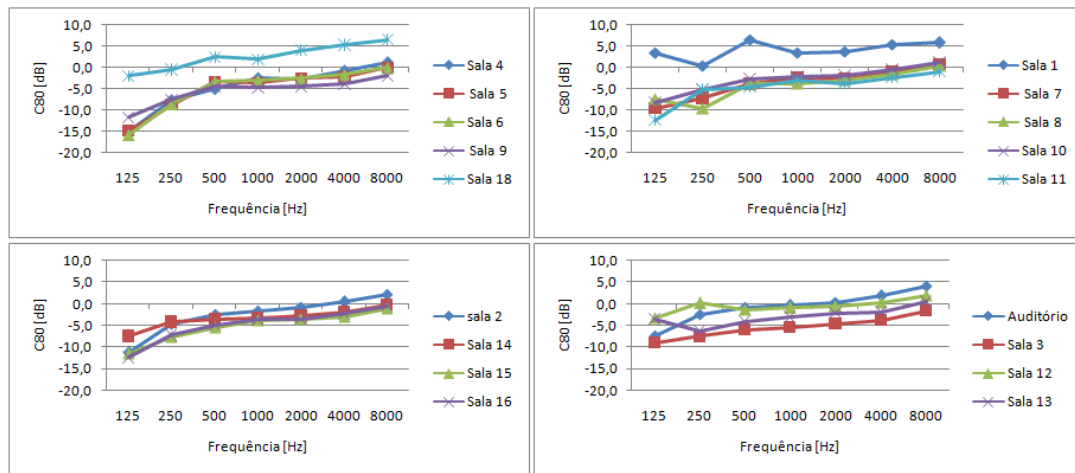


Figura 4. Valores de clareza (C_{80}) nas bandas de frequência de oitava (125-8.000 Hz) para cada grupo de recintos

Analisando a Figura 4, é possível observar que nenhuma das salas apresenta clareza sonora (C_{80}) para o conjunto das frequências avaliadas. Em salas destinadas ao estudo, grupo I (salas 4, 5, 6, 9 e 18) e grupo II (salas 1, 7, 8, 10 e 11), quase a totalidade das salas apresenta situações muito críticas, principalmente a baixas frequências (125 e 250 Hz). Considerando valores adequados na ordem de -4 a +4 dB (BERANEK, 1996), algumas salas chegam a apresentar valores próximos a -15 dB para baixas frequências. As salas com menores valores de TR tendem a apresentar maiores valores de C_{80} , como é o caso da sala 18. Esta é um dos únicos recintos que se aproxima de condições adequadas ao estudo; embora, ainda possa se afirmar, que para nem todos os instrumentos (nem todas as frequências) a situação se mantém similar.

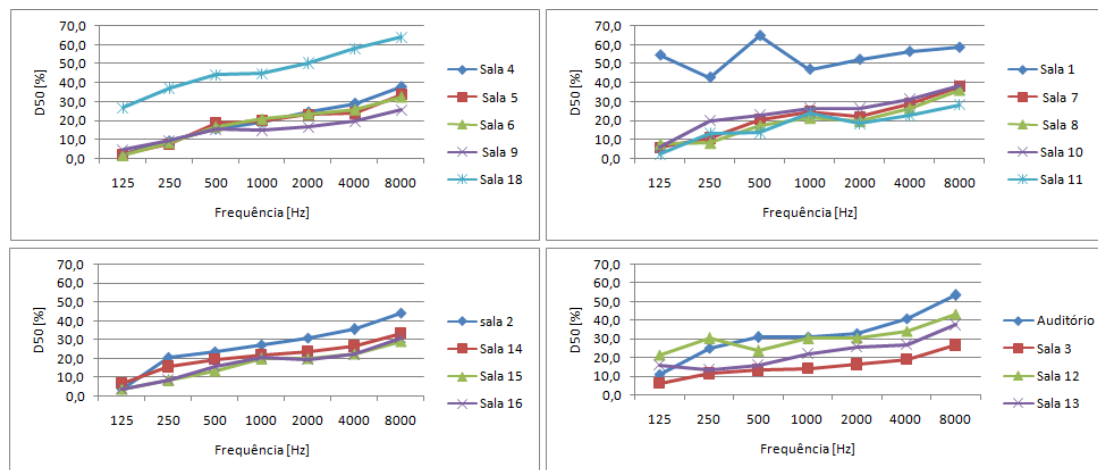


Figura 5. Valores de definição (D_{50}) nas bandas de frequência de oitava (125-8.000 Hz) para cada grupo de recintos

A Figura 5 confirma a hipótese de que os recintos não garantem uma percepção sonora necessária para distinção entre os sons emitidos. Para análise da definição fica ainda mais claro que quase a totalidade das salas não chega nem a 50% do que seria um bom resultado para este

parâmetro. Isto mostra que a qualidade sonora da fala e do discurso fica comprometida. Assim como para a clareza, as salas 1 e 18 apresentam valores menos distantes daqueles recomendados em bibliografia. A primeira sala contém dois pianos de cauda protegidos por cobertores, armário, cortina e cerca de dez cadeiras estofadas, além das banquetas do piano. A sala 18, se comparada com as demais do seu grupo, apresenta a mais uma mesa de escritório, caixa e equipamento de som. A presença de materiais adicionais com coeficientes de absorção maiores é uma das justificativas para os resultados distintos dessas duas salas.

4.4 ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA (STI)

O levantamento do parâmetro STI pode ser justificado devido à utilização das salas para aulas teóricas, práticas de canto e vocalização. A compreensão das sílabas e entendimento do que é falado, neste caso cantado, torna-se imprescindível para a qualidade de recintos destinados ao ensaio e estudo de cantores.

A Tabela 4 traz os valores obtidos para cada sala analisada e a respectiva classificação segundo IEC 60268-16(2003). A única sala tida como boa para a fala é a sala 18; o que não trouxe necessariamente bons resultados para a prática e ensino de instrumentos musicais.

Nota-se, então, que o STI das salas de grupo são, no geral, melhores do que as salas de ensino individuais. Isso não possibilita dizer que as salas de maior volume se encontram em boas condições para este parâmetro. É importante ressaltar que o STI está sendo analisado de uma forma mais ampla, sem separação entre cantores segundo alcance da voz (baixas ou altas frequências).

Tabela 4. Classificação do STI para salas de música

Recinto	STI	Avaliação	Recinto	STI	Avaliação
Auditório	0,55	Adequado	Sala 9	0,39	Fraco
Sala 1	0,48	Adequado	Sala 10	0,49	Adequado
Sala 2	0,49	Adequado	Sala 11	0,42	Fraco
Sala 3	0,38	Fraco	Sala 12	0,53	Adequado
Sala 4	0,43	Fraco	Sala 13	0,45	Adequado
Sala 5	0,42	Fraco	Sala 14	0,45	Adequado
Sala 6	0,42	Fraco	Sala 15	0,40	Fraco
Sala 7	0,46	Adequado	Sala 16	0,41	Fraco
Sala 8	0,43	Fraco	Sala 18	0,62	bom

4.5 RUÍDO DE FUNDO

As medições acústicas nas salas e no auditório foram realizadas no mês de fevereiro do ano de 2016, durante o recesso acadêmico da instituição. As salas foram analisadas como recintos isolados, ou seja, foram estudadas as condições individuais e separadas de cada uma, sem levar em consideração a interferência que uma possa causar na outra.

Mesmo com a ausência de aulas e atividades durante o processo das medições acústicas no local, o nível de pressão sonora do ruído de fundo foi medido de forma a complementar o estudo.

Os valores destes níveis variaram entre 33 dB(A) e 44 dB(A). Estes valores atendem as recomendações da norma NBR 10152 (1987) para salas de aula e auditórios.

4.6 ANÁLISE QUALITATIVA

Quando se trata da acústica para fins musicais, o tratamento das salas é ainda mais delicado, visto que a sensação causada a diferentes instrumentistas e diferentes finalidades (estudo em grupo ou individual) causa condições distintas de projeto. Uma sala projetada para prática de orquestra, por exemplo, não será necessariamente satisfatória para o uso da palavra falada, como aulas teóricas e aulas de canto.

A Tabela 5 traz o resultado da avaliação qualitativa das salas segundo a preferência acústica dos músicos. Estes deveriam avaliar as salas de 1, para péssima condição acústica, a 5, para ótima condição acústica. É possível notar que para salas com volumes menores que 50 m³ as preferências acústicas dos usuários as classificaram como péssimas (37,5-50%) ou ruins (20-30). Uma condição extrema diz respeito à sala de número 11, embora seu volume seja superior às analisadas no grupo I, é a única sala cuja metade de suas paredes são constituídas por divisórias de vidro. As salas com volumes entre 100 e 180 m³ foram classificadas como regulares por 25% dos músicos.

No questionário aplicado, fez-se uma seção especial para análise do auditório. Dos entrevistados, 90% afirmaram que ruídos externos interferem na apresentação musical. Dentre os ruídos mencionados, tem-se: conversas na área externa, som de outras salas, ensaio do coral e até mesmo ruído de cortador de grama. No que se refere a ruídos internos, estes prejudicam em menor escala as apresentações musicais. Dos entrevistados, 50% afirmam que são atrapalhados pelo aparelho de condicionamento de ar interno, 25% afirmam ser indiferentes e o restante diz não se sentir prejudicado. Ainda no que diz respeito ao auditório, 55% dos músicos diz não ter um bom retorno do instrumento no local do palco.

De maneira geral, os músicos avaliaram as salas, tanto individuais quanto em grupo, como acusticamente reverberantes; o que coincidiu com os valores de tempo de reverberação e de tempo de decaimento inicial medidos conforme apresentados nas seções 4.1 e 4.2.

Tabela 5. Avaliação percentual da preferência e qualidade das salas

Sala	Qualidade da sala					Volume (m³)
	Péssima	Ruim	Regular	Boa	Ótima	
DMU 01	41,67	25,00	20,00	7,00	6,33	47,79
DMU 02	45,00	17,50	25,00	7,50	5,00	114,87
DMU 03	40,00	20,00	27,50	7,50	5,00	174,17
DMU 04	47,50	30,00	17,50	2,50	2,50	22,95
DMU 05	50,00	27,50	20,00	2,50	0,00	22,95
DMU 06	50,00	27,50	20,00	2,50	0,00	22,95
DMU 07	50,00	27,50	20,00	2,50	0,00	47,04
DMU 08	37,50	27,50	22,50	7,50	5,00	34,64
DMU 09	37,50	27,50	22,50	7,50	5,00	22,74
DMU 10	37,50	27,50	22,50	7,50	5,00	47,04
DMU 11	65,00	20,00	10,00	5,00	0,00	43,04
DMU 12	45,00	20,00	25,00	5,00	5,00	175,60
DMU 13	45,00	17,50	25,00	7,50	5,00	175,60
DMU 14	45,00	17,50	25,00	7,50	5,00	116,28
DMU 15	45,00	22,50	25,00	7,50	0,00	116,28
DMU 16	45,00	22,50	25,00	7,50	0,00	116,28
DMU 18	45,00	30,00	20,00	5,00	0,00	22,87
	Grupos	I	II	III	IV	

5 CONCLUSÕES

A caracterização acústica de salas de aula e auditório, os quais são destinados ao ensino e prática musical, foi obtida a partir de medições da sua resposta acústica ao impulso e os parâmetros vinculados com o decaimento de energia, com a definição da música e da fala foram determinados. Os resultados dos parâmetros acústicos (TR, EDT, C₈₀, D₅₀ e STI) das 18 salas avaliadas apontam que os critérios de qualidade acústica não foram atendidos satisfatoriamente. Isto mostra que estes ambientes precisam de adequação acústica para alcançar condições favoráveis recomendadas para o desenvolvimento de atividades musicais (ensino e prática), principalmente no que se refere aos tempos de reverberação, nitidez musical e inteligibilidade da fala.

As 18 salas avaliadas foram separadas em quatro grupos em função do volume de ar interno e da atividade musical desenvolvida nelas, podendo ser individual ou coletiva (grupal). Em geral, as salas foram categorizadas como salas pequenas (volume menor que 50 m³) e salas médias (volume entre 100 e 180 m³). As salas definidas pequenas foram classificadas acusticamente como péssimas e ruins pela maioria dos músicos (em torno de 70% das opiniões). As salas médias foram classificadas como acusticamente regulares por 25% dos músicos.

As preferências e opiniões apontadas pelos músicos, em relação aos ambientes de execução musical, foram confirmadas com os resultados dos parâmetros acústicos (TR, EDT, C₈₀, D₅₀ e STI) levantados a partir das medições em cada ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à coordenação do Departamento de Música da UDESC por permitir o acesso às salas e tornar possível a realização deste trabalho. Agradecem, também, ao Laboratório de Vibrações e Acústica, além do Laboratório de Conforto da UFSC pelo empréstimo de equipamentos e apoio.

REFERÊNCIAS

BERANEK, L. **Concert and opera halls: how they sound**. EUA: Acoustical Society of America, 1996.

BISTAFA, S.R.; **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 2. Ed. – São Paulo: Blucher, 2011.

dBBAI32. **Building acoustics analysis**. 01dB-Stell, 2002.

FIGUEIREDO, F.L.; **Parâmetros Acústicos Subjetivos: Critérios para Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música**. Dissertação (Mestrado em Musicologia) Universidade de São Paulo, 2005.

MARROS, F.; **Caracterização Acústica de Salas Para Prática e Ensino Musical**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

NBR 10152/1987; **Níveis de ruído para conforto acústico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

OSAKI, A. G.; SCHMID, A. L. **Tempo de reverberação de sala de música**. In: EVINCI, 17., 2009, Curitiba.

RIBEIRO, R. S.; CARDOSO, I. A.; SANTOS, L. C. **A importância da acústica no processo de aprendizagem: diferentes estratégias de implementação**. In: ACÚSTICA 2008, Coimbra, Portugal – Universidade de Coimbra.

SÁ, L.R.; **Acústica e Educação em Música: Estudo Qualitativo Para Sala de Ensino e Prática de Instrumento e Canto**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, 2010.

VERGARA, E. F.; MARROS, F.; PAUL, S. **Caracterização da qualidade acústica de salas de aula para prática e ensino musical.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 23-37, jan./mar. 2017.